

# 縦挿し型送受信機を用いた土壌中の伝搬速度計測

Propagation velocity in soil using Handheld Sound Source and Sensors

白川 貴志、大平 武征、中川 裕、佐野 元昭、杉本 恒美

桐蔭横浜大学大学院工学研究科

(2016年3月28日 受理)

## 1. はじめに

地中に音波を伝搬させることにより埋設物の位置、土層の状態を調べる研究は以前よりなされており多くの分野で利用されている。

一方、植物育成に影響を与える土壌の性質を経時的に測定、評価することは困難であるが、指向性を持った送振源及び受信機を土壌に対して垂直に挿入することにより、伝搬する音波特性から土壌状況（水分分布）を把握することが可能と思われる<sup>1-2)</sup>。そこで本研究は、複数の振動子と加速度センサにより構築された可搬型の縦挿し送受信機を用いて植物栽培下における培養土中を伝搬する音速を計測し、培養土中の体積含水率が推定可能であることを明らかにする目的を持つ。水分分布の推定精度は伝搬音速の計測精度および安定性に依存するため、今回は AIC 値を用いた信号到達時間検出を用いて伝搬音速の計測精度および安定性について

検討を行った。

## 2. 地中縦挿し型送受信機について

実験構想図を Fig. 1 に示す。植物根圏に点滴、もしくは地中灌水を行う状況を想定し、根圏を挟み込む形で地中縦挿し型送信機と受信機を設置、伝搬速度より根圏水分分布推定を行うというものである。

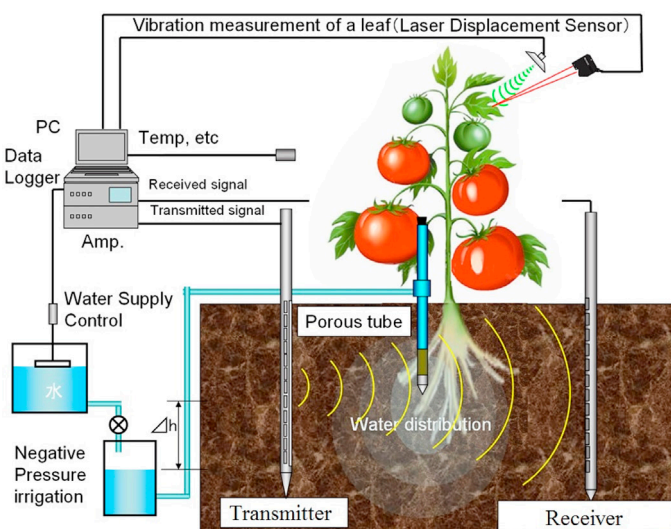
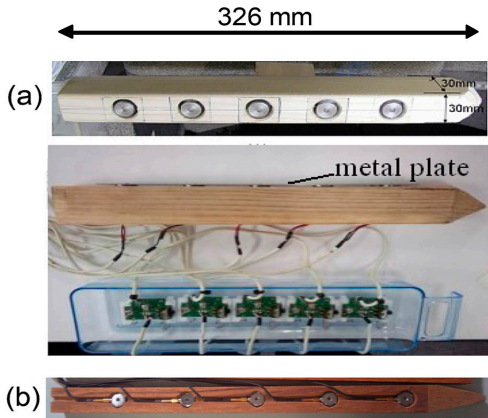


Fig. 1 Overview image.

Takashi SHIRAKAWA, Takeyuki OHDAIRA, Yutaka NAKAGAWA, Motoaki SANO and Tsuneyoshi SUGIMOTO  
Graduate school of engineering, Toin University of Yokohama, 1614 Kurogane-cho, Aoba-ku, Yokohama 225-8503, Japan  
e-mail: t\_shira7@yahoo.co.jp



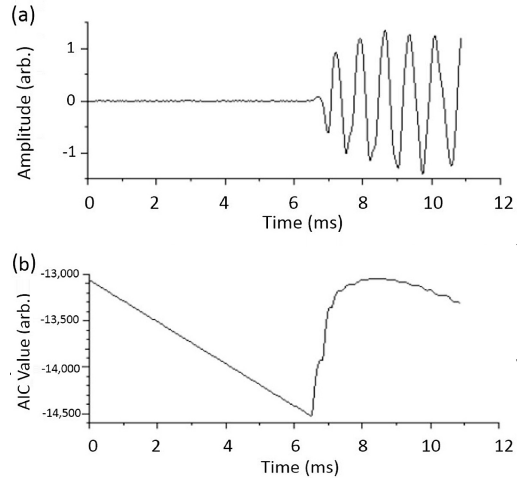
**Fig. 2** (a) Handheld transmitter,  
(b) Handheld receiver.

製作した地中縦挿し型送信機及び受信機の概観写真を **Fig. 2** に示す。送信機筐体中央ラインには5つの円形孔を開け、それぞれに小型超磁歪振動子 (OPT Co.Ltd, GPC-1) が内蔵されている。素材には針葉樹材を用いている。それぞれの振動子先端部は、送信機表面の金属板に固定され同位相で振動する。受信機筐体は全長 35 cm、素材には広葉樹材を用いている。筐体中央部に円形孔が設けてあり、加速度センサ (ONO SOKKI, NP-3110, 3412) を内蔵、振動膜としては PP シートが木材表面に貼付してあり、加速度センサとシートとは接着されているが、筐体本体とは接触していない構造となっている。

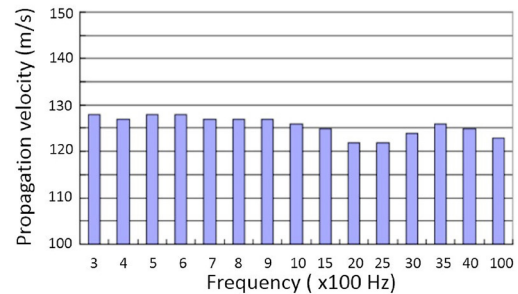
### 3. AIC 値を用いた伝搬音速計測

#### 3-1. AIC 値による信号到達時間検出

実際に地中を伝搬する振動波形には多くの場合雑音成分が含まれている。地震学の分野では、地震波形は自己回帰 (Autoregressive; AR) 過程として局所的に定常な区間に分けることができ、信号の到達前後で2つの異なる定常状態を示す。この AR モデルの適合性判断として赤池情報量 (Akaike Information Criterion; AIC) が用いられている。近年、AR モデルを使用することなく、検出波形に直接 AIC を適用し、AIC 値が最小値を示す



**Fig. 3** (a) Received wave. (b) AIC value.



**Fig. 4** Propagation velocities at each emitted frequency using AIC value.

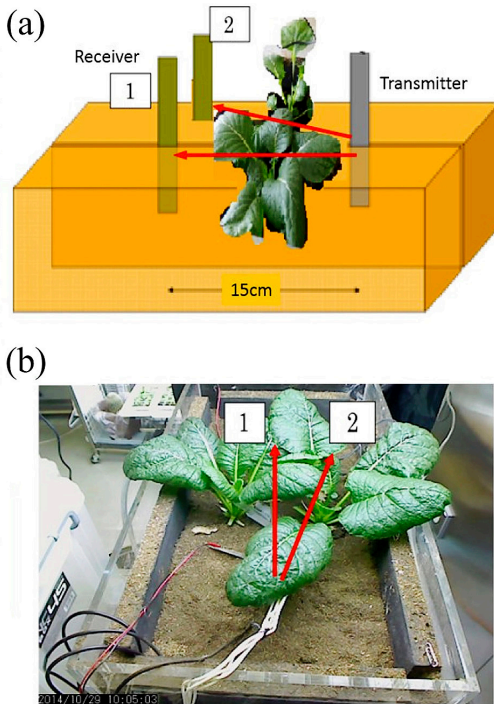
点を信号到達時間として用いる試みが行われている<sup>3)</sup>。そこで本検討でも、直接 AIC 値を用いた伝搬音速計測を行った。サンプル数  $N$  個の波形に対して、振幅値  $X_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) として任意の点  $i = k$  での  $AIC_k$  を (1) 式のように定義する。

$$AIC_k = k \cdot \log\{\text{var}(X|1,k)\} + (N-k) \cdot \log\{\text{var}(X|k,N)\} \quad \dots\dots (1)$$

ここで、 $\text{var}(X|1,k)$  は振幅値  $X_1$  から  $X_k$  の分散を示す。この  $AIC_k$  が最小値を示す  $k$  の値を信号到達時間として用いる。

#### 3-2. AIC 値による伝播音速計測例

測定結果例として、砂槽内において伝搬距

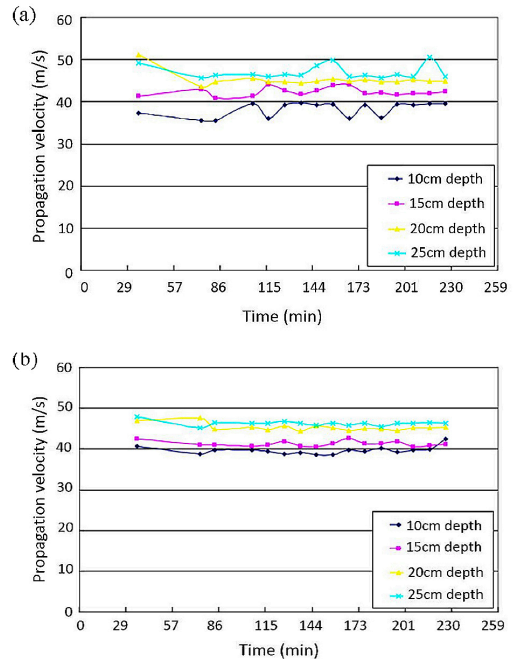


**Fig. 5** Experimental setup in culture soil.  
(a) installed position, (b) photograph.

離 30 cm、伝搬深度 15 cm、送振周波数 1500 Hz、波数 5 波の受信波形と AIC 値の計算結果を Fig. 3 に示す。また、同条件における各送振周波数 (300 ~ 10000 Hz) の受信波形を用いて算出された伝搬音速結果を Fig. 4 に示す。どの周波数帯においても、ほぼ安定した伝搬音速値が得られた。

### 3-3. 植物培養中の伝搬音速計測

振動伝搬の植物根による影響を調べるために 2 株の小松菜をアクリル土槽の中に配置した。Fig. 5(a) に縦挿し型送信機と受信機の設置位置と、二株の小松菜との位置関係を示す。受信機は送信機より 15 cm の距離に設置しており、二株の小松菜の間を伝搬する経路①と小松菜の根圏を通過伝搬する経路②を想定している。それぞれの受信機に内蔵されている加速度センサは地表面より 5, 10, 15, 20, 25 cm の深度に設置した。Fig. 5(b) に実験中の写真と伝搬経路①、②を示す。なお、送信波としては周波数 400 ~ 1000 Hz、5 波



**Fig. 6** Temporal change of propagation velocity using AIC value. (a) pathway ①, (b) pathway ②.

を用いた。

送振周波数 1000 Hz における AIC 値による伝搬音速の時間変化の計算結果例を Fig. 6 に示す。経路①、経路②ともに深さ毎にほぼ安定していることがわかる。

砂槽を伝わる音速値が Fig. 4 の様に 120 ~ 130 m/s であるのに対して、植物根が存在しない / する培養土中を伝搬する音速値は 35 ~ 50 m/s となっていることが見てとれる。伝搬経路深度が深くなる程、音速値が上昇する傾向にある。

培養土における受信波形は距離が 15 cm 程になるとノイズが増えるが、AIC 値を用いると安定した音速値が得られることが判明した。

砂槽では含水率が上がると伝搬音速値が上昇、培養土中では下降することが以前の研究で判明している為、今後は植物育成中培養土の含水率をコントロールしながら音速値の変化との関係性を調べていく。

#### 4. まとめ

AIC 値を用いることにより算出された伝搬音速値は、ノイズが多く含まれる植物育成中の培養土内受信波形に対してもほぼ安定した値が得られた。また、植物の根圏が存在する、しないに関わらず一定の音速値が求められている為、純粋に土壌の含水率状況を音速値によって推定する可能性が示唆された。

#### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K07681 の助成を受けて実施された。

#### 【参考文献】

- 1) Study on Water Distribution Imaging in the Sand Using Propagation Velocity of Sound with Scanning Laser Doppler Vibrometer, T.Sugimoto, Y.Nakagawa, T.Shirakawa, M. Sano, M.Ohaba, and S.Shibusawa, Jpn. J. Appl. Phys. 52 (2013) 07HC04.
- 2) Basic Study of Water Distribution Measurement in Soil Using SLDV — The soil water measurement during plant cultivation —, Tsuneyoshi Sugimoto, Yutaka Nakagawa, Takashi Shirakawa, Motoaki Sano, Motoyoshi Ohaba, Sakae Shibusawa, 2013 Joint UFFC, EFTF and PFM Symposium (IEEE).
- 3) 大野 他, 非破壊検査, 57(11), 531-536, 2008.